

広島大学学術情報リポジトリ

Hiroshima University Institutional Repository

Title	学習ゲーム作成のための部分構造交換法とその実践例
Author(s)	梅津, 孝信; 平嶋, 宗; 竹内, 章
Citation	電子情報通信学会論文誌 D , J88-D1 (1) : 36 - 44
Issue Date	2005-01-01
DOI	
Self DOI	
URL	http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00045766
Right	Copyright (c) 2005 IEICE
Relation	



学習ゲーム作成のための部分構造交換法とその実践例

梅津 孝信[†]平嶋 宗[†]竹内 章^{††}

Partial Exchange Method for Designing Digital Learning Games

Takanobu UMETSU[†], Tsukasa HIRASHIMA[†], and Akira TAKEUCHI^{††}

あらまし 学習への動機付けを高める一つの方法として学習ゲームが注目されているが、その作成は難しく、また、作成プロセスについてはほとんど論じられていないのが現状である。そこで本研究では、その学習ゲームを作成するための手法として「部分構造交換法」を提案する。これは、ゲームに使用されているオブジェクトを、それと同じ構造をしている学習すべき対象物と交換することによって、学習ゲームを容易に作成するといったものである。この方法によって作成された学習ゲームにおいて、学習すべき対象は、ゲーム中のよく似た構造のオブジェクトと交換されることにより、あたかもゲームの一部であるかのように振舞うことになる。そのため、追加された学習対象は、学習すべき対象物でありゲームの一部でもあるとみなすことができるものとなり、高い動機付けのもとで学習できる学習ゲームとなることが期待できるのではないかと考える。本論文では、この部分構造交換法とその実践例を報告する。

キーワード 知的学習支援システム, ILE, 学習ゲーム, 設計方法論

1. ま え が き

人の学習を促進する計算機ソフトウェアに関する研究において、「学習者の動機付けを高める」ことは重要な問題である。その回答の一つとして、「学習のゲーム化」が注目されている。コンピュータベースの学習ゲームに関する研究は、既に 1970 年代から始められており、マルチメディア処理技術が大幅に向上した今日、ますます盛んになってきているといえる。これまでも数多くの学習ゲームが作成されており [1] ~ [6]、また、人工知能の技術を用いてより高度な学習支援の実現を目指す知的 CAI においても、算術技能のための WEST [7] や論理的・確率論的推論のための WUMPUS [8] といった数々の学習ゲームが作成されており、学習のゲーム化の有効性は実証済みであるといえる。

しかしながら、現在、学習をゲーム化するという作業は多数行われているものの、どのような作業を行っ

てゲーム化がなされているのかについての議論はあまりなされていない。そのため、学習ゲーム作成の成否は設計・開発者のセンスに依存し、作成された学習ゲームの意味付けも行いにくく、経験や知見の体系的な蓄積はほとんど行われてこなかった。そこで、この「学習をゲーム化するプロセス」にはどのような種類があるのか、そのプロセスの具体的な作業内容は何かといった体系的な知識を構築することにより、質の高い学習ゲームを、容易に設計できるようにするのが本研究の目的である。

ここでの「学習をゲーム化するプロセス」とは、学習とゲームの差を埋めるために、学習に対してゲーム的要素を付け加え学習ゲームとする作業、若しくは、ゲームに対して学習要素を付け加えて学習ゲームとする作業だと考える。そのため、学習をゲームとして見た場合に足りない要素は何か、また、どういう形で要素を追加すれば学習としての機能を残すか、逆に、ゲームを学習として見た場合に足りない要素は何か、どう要素追加を行えばゲームとしての機能を残すかについて考えることが「学習をゲーム化するプロセス」を明らかにすることにつながっていると考えている。筆者は、学習のゲーム化手法を定式化していくことによって、ゲーム化のプロセスにはどのような種類があるのか、そしてその

[†] 広島大学大学院工学研究科, 東広島市

Information Engineering, Hiroshima University, Higashi-hiroshima-shi, 739-8527 Japan

^{††} 九州工業大学情報工学部, 飯塚市

Artificial Intelligence, Kyushu Institute of Technology, Iizuka-shi, 820-8502 Japan

プロセスの具体的な中身は何なのか、更には、学習のゲーム化において埋めるべき学習とゲームの差は一体何なのかについて明らかにすることを目的としている。

本論文では、学習のゲーム化手法の一つとして、ゲームと学習の構造に着目した「部分構造交換法」を提案する。これは、ゲーム構成要素の一部分を、それと同じ構造をしている学習すべき対象物と交換することによって、学習ゲームを作成する方法である。作成された新たなゲームでは、プレイヤーは交換された学習対象の構造を利用しなければならず、そのゲームをプレイすることを通してその学習対象について理解が深まることが期待できる。この手法では、交換の前後でゲームの変化を低く抑えることができ、もとのゲームのもつ面白さを高いレベルで保存することが期待できる。更に、ゲームに使われているオブジェクトと学習すべきオブジェクトで同じ構造を発見さえすれば、残る作業は交換のみであり、一から学習ゲームを作成するのに比べて簡単といえる。

本論文では、この「部分構造交換法」、及びこの手法を用いて設計したコンピュータベースの学習ゲームを紹介する。更に、学習ゲームの簡単な利用実験、及び部分構造交換法によって作成可能な学習ゲームのバリエーションの検討についても報告する。

2. 学習ゲーム作成法

学習ゲームの作成法は、大別して2種類のものが提示されている。一つは、矢野、林らが提案している方法で、ゲームの面白さが何の要素から起因するのか調べ、その要素を学習に埋め込むことによって学習ゲームを作成する方法である[9]。この研究では、面白さの要素を「スピード感」や「物語」といったものとしており、具体的な作成作業が分からないものとなっているため、面白さの要素部分の設計は、センスに依存する学習ゲーム作成法となってしまう。

もう一つの方法は、Marc Prensky や、Malone が提示している手法で、ゲームとはどのようなものかを定義し、その定義に合うように学習ゲームを作成していくという手法である[1]、[10]。しかし、1958年になされた Roger の定義[11] など、古くからゲームの定義というものは行われているが、その定義はどれも非常にあいまいで、定義どおりのものであってもゲームではないものも数多く存在している。例えば、「テスト」と「クイズゲーム」の違いが定義できているものはほとんどない。更に、それらの定義はあいまいであ

るがゆえに、具体的にどのような作業を行えばゲームとなるのか分からないものがほとんどである。例えば Malone は、「Fantasy を構成する」という定義を提示しているが、具体的に何を行えばよいのかについては提示していない。

林らが提案している FDCA 法[12] はこれら二つとは違い、ゲーム化の具体的な作業にまで言及したものとなっている。矢野らは、ゲームインタフェース型という、CAI のインタフェースにゲーム的なインタフェースを実装したタイプの学習ゲームの構成形態を提案している[13]。この種類の学習ゲームを作るための手法が FDCA 法である。これは、インタフェースそれ自体がゲームであると認められるものがあった場合、そのインタフェースと CAI の機能をいかにしてつなげるかを説明したものである。結果、インタフェース部分のみがゲームとなる学習ゲームを作成することができる。ほかに、林らは、ゲームルールを設計した後に、それをどのようにシステムとして実装するべきかについても研究を行っている[14]。このように、学習ゲームの作成法はいくつか提案されているが、これらはゲームルールを設計するための具体的な作業を明示していないものがほとんどである。また、その具体的な作業について議論している FDCA 法は、インタフェースのみしかゲーム化することができない手法である。そこで筆者らは、学習活動でもありゲーム活動でもあるような活動を作成することで、学習効率と高い動機付けを両立させた学習ゲームを作成する融合型ゲーム化を提案し、そのゲーム化プロセスを具体的な作業として定式化する研究を行っている[15]～[18]。この融合型ゲーム化のための手法の一つとして、本論文では、部分構造交換法というものを提案する。これは、既存のゲームを用意し、そのゲーム構成の中の一部である特定の「構造」を交換するという作業によって、簡単に学習ゲームを作製する手法である。

部分構造交換法のように、既存のゲームと学習を組み合わせることにによる学習ゲームの作成は、よく行われているものである。例えば、漢字とその読みを、それぞれ絵札と読み札にした漢字学習のためのカルタなどは、各地の小学校でよく作成されるほど有名なものである。冒頭に例に挙げた WEST はすぐろくをもとに作成されたゲームであると考えられる^(注1)。部分構

(注1): WEST は部分構造交換法では作成できない。これについては 3.4 で説明する。

造交換法は、このように既存のゲームから学習ゲームを作るいくつかの方法のうち、一つを定式化したものである。既存のゲームの特徴を保ちつつ学習ゲーム化することを考えた場合、ゲームのどの部分をどのように変更すればよいのか、どのようなゲームをもとに学習ゲームを作ればよいのか、結果どのような学習ゲームが作成されるのかを明確化したのがこの手法である。

3. 部分構造交換法

3.1 概要

部分構造交換法は、既存のゲームから学習ゲームを作成する方法で、既存のゲーム活動がもつ動機付け能力をできるだけ低下させないように、既存のゲームの構造をできる限り保存しながら学習ゲームへと作り換えることを指向したものである。

あるゲームの部分的なルールを類似した別のルールと交換することによって、新しいゲームを作成するといった作業はよく行われているものであり、もとのゲームに近い特徴をもつ面白いゲームを、簡単に作成する有効な手法の一つとなっている。すぐろくでは盤を変えることでよく似た新しいゲームを作ることができるし、将棋に対する4人将棋といったように、細部の変更によってよく似た新しいゲームを作成するといったことができる。これを利用したのが部分構造交換法である。部分構造交換法では、高い動機付けでプレイされるゲームの一部分を、それと同等の役割を果たすことのできる学習すべき対象物と交換することによって、新しいゲームを作成する。このようにして作成されたゲームでは、学習すべき対象物を利用しながらゲームが行われるため、プレイヤーは、対象物がどのようになっているかを確認するという作業を行いながらゲームを進めていくことになる。これは、対象物を記憶するための活動と一致しており、この新しいゲームは対象物を記憶するための学習ゲームであるといえる。この学習対象物がどのようなものになるかについては、次節にて説明する。

3.2 学習の種類

化学の周期表や、数学の公式など、一定の分野内で成り立つ関係を構造として表したものがある。これらの構造は、適切な方法で利用することによって、何らかの問題を解くことができるため、記憶することが求められることがある。例えば周期表は、電子配置をもとにして元素を配置したものであり、似た性質の元素が族というグループに分類されているものである。こ

の周期表の構造を記憶しておくことによって、元素がどのような性質をもっているかを簡単に導き出すことができる。このような、一定の分野内で成り立つ関係を構造として表したものを、ここでは表層構造と呼ぶこととする。このような表層構造を、高い動機付けのもとで学習活動を行わせるための学習ゲームを作成する方法が、部分構造交換法である。既存のゲームの一部を、それと同等の役割を果たすことのできる表層構造と交換することによって、学習ゲームを作成する。この学習ゲームを通して表層構造を利用することは、表層構造がどのようになっているかを確認する活動であり、表層構造の記憶につながる。

3.3 動機付け

周期表や公式といった、表層構造を覚えたいという動機付けが発生するのは、表層構造がどのように利用できるのかといった、表層構造の意義が理解できたときである。例えば、元素のもつ性質は電子配列と関係があるため、周期表を利用すると元素のもつ性質を調べることができることが理解できたとき、周期表を覚えたいという動機付けが発生する。しかし、表層構造の利用方法がよく理解できていない場合や、利用できるレベルにまで表層構造を覚えていない場合には、この動機付けが発生しづらいと考えられる。また、表層構造の有用性が理解できた上でであっても、覚えることの苦痛により動機付けが低下することがある。このような場合に、部分構造交換法で作成した学習ゲームを用いることで、高い動機付けのもとで学習を行わせることが可能になると考えている。

部分構造交換法は、既存のゲームから学習ゲームを作成する方法で、既存のゲーム活動がもつ動機付け能力をできるだけ低下させないように、既存のゲームの構造をできる限り保存しながら学習ゲームへと作り換えることを指向したものである。高い内発的動機付け能力をもつゲーム活動をもとにして、この作り換えをうまく行い、高い内発的動機付け能力をもつ学習ゲームを作成する。この学習ゲームのプレイヤーは、プレイする活動を面白いと感じることが期待される。そのため、そのプレイする活動のうち一部として行われる学習活動に対しても、高い内発的動機付けをもつことが期待される。このような、活動が面白いからという理由から発生した学習活動に対する動機付けは、「物質の成り立ち、化学変化を理解するために必要だから周期表を覚えたい」といった、学習への直接的な動機付けに比べると、学習効果において何らかの差が現れる

可能性がある。しかし、表層構造の必要性が理解できずに動機付けが発生しづらい場合や、表層構造を覚える苦労が大きく動機付けが困難な場合など、学習への直接的な動機付けを行うことが困難な場合に、活動の面白さから発生する動機付けを与えて問題を改善することは、学習の促進に有用であると考えている。

3.4 交換する構造

部分構造交換法は、高い動機付けをもつもとゲームの性質をできるだけ保存することで、高い動機付けの学習ゲームを作成することが目的である。そこで、これを実現するために、まず、ゲームのルールを、(1) ゲームに使用されているオブジェクトのもつ性質、(2) ゲーム特有のルールの二つに分類する。ゲームに利用されているオブジェクトとは、例えば、ポーカーや7並べでのトランプ、花札の札やカルタの札などといったものである。これらのオブジェクトは、ある構造をもっており、ゲームのルールはこの構造を利用したものとなっている。トランプは、数値とスートという2種類の情報をもっており、数値は、同値・順序関係を定義できるといった性質、スートは同類関係を定義できるという性質をもっている。ポーカーや7並べはこれらの性質と、そのゲーム固有のルール、例えば7並べで「既に出されている数字の連番でないと出せない」といったルールによってゲーム全体のルールが規定されている。カルタの札は1対1対応関係が定義できるといった性質をもっており、「読み上げられたカードと同値関係にあるカードを素早く取る」というゲーム固有のルールと組み合わせられてカルタゲーム全体のルールとなっている。

もとのゲームの性質をできるだけ保存しながら交換を行うために、ここでは、ゲームに利用されているオブジェクトのもつ構造に注目する。もし、ゲームに利用されているオブジェクトの構造と、同じ表層構造をもつ学習すべきオブジェクトが存在していた場合、この二つを交換することによって、もとのゲームとほぼ変わらない新しいゲームを作成することができる。このとき交換する構造は、「順序関係」「同類関係(同値関係を含む)」「1対1対応関係」を組み合わせで定義される構造を選ぶ。例えば、化学の周期表を学習すべき対象物とした場合、周期表の元素記号群の間では、族と周期という二つの同類関係を定義することができる。このような構造をもつオブジェクトは、多くのゲーム、学習に存在している。そして、ゲーム活動の大半が、このオブジェクトの操作で構成されているゲームは多

数存在しており、交換して学習ゲームを作成するのに適したものとなっている。4.3でも述べるとおり、この三つの組合せによる構造だけで、十分に多くの種類の学習ゲームを作成することができる。ただし、部分構造交換法では、もとのゲームを大きく変更しないという制限があるため、WESTのように、もとのゲームから逸脱したルールを擁する学習ゲーム作成することができない。WESTも、すごろくをもとにして部分構造交換法の考え方で作成されたゲームだと思えるが、実際はもっと複雑な方法で作成された学習ゲームである。すごろくはサイコロを振ってその目だけ進み、止まったマス目の指示に従うというゲームになっている。WESTではこのルールに加え、出したサイコロの目を演算で操作し、自分に都合のいい数にするといったルールが追加されている。WESTは、このサイコロの目の操作こそがゲームとして面白い部分であり、学習活動となっている。しかし、部分構造交換法では、このようにもとのゲームの構造を変えてしまうようなゲーム化を行うことはできない。このように、漢字カルタとWESTの違いが明確化されることも、部分構造交換法の意義の一つだと考えている。

3.5 もととなるゲーム

部分構造交換法で取り扱うゲームは、何らかのオブジェクトを操作する活動を含むゲームである。このようなゲームは、オブジェクトに関係する活動と、オブジェクトに関係しない活動の2種類の活動を含んでいる。部分構造交換法によって学習ゲームを作成した場合、このオブジェクトに関係しない活動は、確実に学習に寄与しない活動となってしまう。そのため、選んだゲームによっては、学習ゲームを1プレイする時間のうち、学習に寄与する時間の割合が小さい学習ゲームができあがる可能性がある。このような学習ゲームでは、時間的な効率として学習効率が低くなってしまう。この対処として、もととなるゲームを選択する際、「ルールが理解しやすく、ゲームに勝つための戦略が理解しやすく、そして、自分の手を決定するのに時間がかからなくてすむようなゲーム」を選ぶべきである。このような学習ゲームであった場合、学習者は、ルールの理解や自分の手の決定などといった、学習活動以外の部分で時間をかけたり熟考したりすることがなく、相対的にはあるが、学習活動の重要性が高まることとなる。このような特徴は、カードゲームの中でも、カードのもつ情報が少ないゲームがもっていることが多い。トランプで遊ばれるゲームでは、「セブンブリッ

ジ」「ダウト」「ページワン」など、独自のカードで遊ばれるゲームでは、「はげたかの餌食」「クク(カンピオ)」「6ニムト!」などが、このようなゲームの例に該当する。

4. 部分構造交換法の評価

本論文では、部分構造交換法は、高い動機付けのもとで学習を行うことのできる学習ゲームを簡単に作成できる手法として提案されている。この有用性を裏づけるための検証すべき仮説として(仮説a)学習ゲームが作成できているか、(仮説b)簡単に作成できるか、また、作成した学習ゲームに対して(仮説c)学習活動がゲーム活動でもあると感じられ通常より高い動機付けが見られるか(仮説d)もとのゲームの特徴が残っているか(仮説e)何らかの学習効果があるか、の五つを設定した。これらを検証するため(1)事例としてのコンピュータベースの学習ゲーム作成とその試験的利用、及び(2)作成可能な学習ゲームのバリエーションの検討、を行った。

4.1 部分構造交換法の実践例

高い動機付け効果をもつ学習ゲームを簡単に作成するための手法としての「部分構造交換法」の実践例として、知名度の高いカードゲーム“UNO”をもとにし、化学の周期表が学習できる学習ゲームを作成した。本論文では、その手順と作成された周期表学習ゲームについて概説する。

4.1.1 UNOのルール

UNOのルールを概説する。2~10人の対戦ゲームで、はじめに、各プレイヤーには、0~9の数字、若しくは文字が書かれたカードを7枚配られる。各プレイヤーは自分の手番に、手札の中から前の人が出したカードと同じ数か文字のカードを出す。もし出せなかった場合、山札から1枚もらう。これらを繰り返し、はじめに手札をなくした人が勝利者である。「連番数字は同時にらせる」などの多数のローカルルールが存在する。

4.1.2 UNOの周期表学習ゲーム化

UNOはルールが簡単であり、戦略も分かりやすくあまり悩まずにプレイできるゲームである。本論文にて提案している部分構造交換法による学習ゲームの作成に適したゲームだといえる。そこで、部分構造交換法によって、UNOを周期表学習ゲームへと変更した。化学の元素記号は、「周期」という同類関係と順序関係を定義できるデータと、「族」という同類関係と順序関

係を定義できるデータの2値をもつ学習対象である。そこで、UNOのもつオブジェクトとして、同じように同類関係・順序関係を定義できる数字と、同類関係を定義できる色という2値の情報をもっているカードに注目する。このゲームでは、この数字の同類(同値)関係・順序関係、そして色の同類関係といったものを利用してゲームが行われる。そこで、同類関係と順序関係をもった「数字」と同類関係をもった「色」の書かれたカードを、同類関係と順序関係をもった「族」と同類関係をもった「周期」の2値をもつ学習対象である化学元素と交換する。この交換により、プレイヤーは交換された学習対象の構造を利用しなければならず、その学習対象の構造について理解が深まることが期待できる。例えば、「同じ数か文字をもつカードを考える」という活動は「同じ周期か族をもつ元素記号を考える」という活動へと置き換わり、プレイヤーは、カードを1枚出そうとするたびに周期や族といったことについて考えなければならない。

また、このゲームは、UNOのルール構造をそのまま受け継いでいるため、UNOに存在していた「どちらのカードを出した方がよいか」といった戦略的なものも保存されている。例えばUNOには、「場札を自分が多くもっている色へと変更する方がよい」といった戦略や「まだあまり出されていない色や数字を残しておく方がよい」といった戦略が存在する。この戦略は学習ゲームとなった状態でも残っており、「場札を自分が多くもっている周期へと変更する」、または「まだあまり出されていない周期や族を残しておく」といった戦略が、新しく作られた学習ゲームに適用できる。これらの戦略をとるためには、「自分が多くもっている周期は何か考える」必要があり、また「多く出された周期や族は何か確認する」必要がある。これらは周期表を覚えるための学習活動と一致する。

更に、UNOに存在するローカルルールについてもそのまま採用し、学習が行われる頻度を増やすことにした。UNOのローカルルールには、得られた点数で競うために作られたものが存在する。カードに点数を付けておき、勝利者が出た時点で敗者ももっていたカード点数の合計が敗者のもち点から引かれ、更に、敗者全員ももっていたカード点数総計分を勝者のもち点に加算する。数ゲーム行った後で一番高い点数のプレイヤーが勝者となるといったルールである。このルールが存在した場合、「点数の高いカードは先に出す」といった戦略が生まれる。また、連番数字のカードはす



図 1 システムのゲーム画面
Fig. 1 A snapshot of the game.

べて一度に出すことができる」といったローカルルールも存在する．このルールが存在した場合、「連番数字のカードがないか探す」若しくは「連番数字となるように手持ちカードを調整する」といった戦略が生まれる．これらのローカルルールは、学習ゲーム化にともない、「原子番号が大きい（点数が高い）カードから出す方が有利」、「原子番号が連番のカードがないか探す」、「原子番号が連番数字となるように手持ちカードを調整する」といった戦略が新たに付け加わることとなる．当然、原子番号の大きなカードを探したり、手持ちカードの原子番号が連番が確認したりするといった作業は学習活動である．このようにして作成された学習ゲームを「周期表学習 UNO」と名づけた．システムのゲーム画面を図 1 に示す．

4.2 周期表学習 UNO の試験的利用

次に、この周期表学習 UNO の利用調査について述べる．調査の被験者は、大学生 34 名である．本調査では、部分構造交換法で作成された周期表 UNO が学習ゲームとして成立しているかどうかを検証するために、「本学習ゲームをプレイすることによる学習効果があるのか」と「プレイヤーの印象」を調査した．前者は被験者に対するペーパーテストによって、後者は被験者に対するアンケートによって調査した．

調査は以下の手順で行った．

(1) 事前テスト

5 分間のペーパーテストを行った．テストでは、まず、周期表を原子番号 36 番まで再現してもらった．その後に、「元素 A と元素 B は同族である（でない）元素 C と元素 D は同周期である（でない）」という文章を 30 文読んでもらい、それぞれに対して真か偽かを

答えてもらった．この二つの課題合わせて 5 分である．

(2) システム説明

周期表学習 UNO のシステムの利用法について、そのゲームルールを含めて 10 分間の説明を行った．

(3) システム利用

システムの説明の後に、被験者には約 20 分間システムを利用して学習を行ってもらった．被験者にはそれぞれ 4～5 人程度のグループを九つ作成してもらい、それぞれのグループに対して計算機を 1 台与え、グループ内で交代しながらシステムを利用するといった形式をとってもらった．

(4) 事後テスト

5 分間のペーパーテストを行った．テスト内容は事前と同じ形式であるが、30 文の真偽判定テストについては、その 30 文をランダムに入れ換えたものを用意した．それ以外はすべて事前テストと同じ手法・内容・形式である．

(5) アンケート

被験者に対して数項目のアンケートを行った．ただし、このアンケートの回収は試験利用の時間外に行ったため、被験者全員のものを集めることができず、被験者 34 名に対し 25 件のアンケートしか収集できなかった．

4.2.1 テスト結果

まず、本システムを用いた学習効果について検討する．テストを構成する課題のうち、周期表の再現は、のちの 30 問の問題に答える際に、まず周期表を再現してから答える人、そうでない人が存在すると考え、両者の時間的な差を埋めるために、全員に周期表の再現を強制させるためのものである．今回は、このテストのうちの後半 30 問のみを評価する．事前テストの平均正答数は 15.62 問、分散は 60.55 であった．事後テストの平均正答数は 27.23 問、分散は 19.28 であった．事前テストと事後テストの差を t -検定を用いて調べると、 $p=1.89E-10<.001$ と差は有意であった．

システム使用後すぐにテストを行っている上、被験者はシステム利用時に事後テストを受けることが予想できたため、事後テストでは特に高い点数が出ていると思われる．更に、システムでなく通常の方法で学習した統制群との比較は行っていないため、この結果からシステムの学習効果の高さは測ることができない．しかし、「二つの元素が同族・同周期か否か」を記憶する学習を行うことができるシステムであることは示唆されており（仮説 e）何らかの学習効果があるシステ

表 1 アンケート結果
Table 1 Questionnaire data.

		1	2	3	4	5	
(1)	面白くない	0	0	3	13	9	面白い
(2)	ほぼ残っていない	1	0	3	16	5	ほぼ残っている

ムとなっていることが裏づけられる。

4.2.2 アンケート結果

まず、本実験で実施したアンケートの設問について説明する。設問は以下の2項目である。回答は1から5の数字を選んでもらうもので、数字の大小がどちらよりの意見かを表している。このアンケートの集計結果を表1に示す。

(1) 周期表をただ覚えようとする行為よりこのゲームで遊ぶ行為の方が面白いと思いますか。

(2) このゲームはUNOの特徴を残したまま学習ゲームに作り変えるといった考え方で作られています。どれだけUNOの特徴が残っていると思いますか。

設問(1)の回答は、大きく面白いという意見へと傾いており(仮説c)学習活動がゲーム活動でもあると感じられ通常より高い動機付けが見られるという仮説を支持している。また、設問(2)の回答もほぼ残っているという意見へと傾いており(仮説d)もとのゲームの特徴が残っているという仮説を支持している。なお、アンケートの回答候補は数字の大きい側が必ず研究の肯定意見となっているため、肯定意見へのバイアスを与えている可能性がある。設問(2)は、もとのゲームがUNOであるという意識のもとで考えてほしいためにあえて説明を加えているが、これも肯定回答のバイアスとなっている可能性がある。学習ゲームを利用してもらい、その有用性について質問するという形式である以上、これらのバイアスは逃れがたいものである。そのため、このアンケート結果の信頼性は、参考程度のもとなっているが、このアンケート結果は、部分構造交換法の研究に価値があるものと考えられるには十分なものとする。

4.3 作成可能なゲームのバリエーション例

本論文で提案する部分構造交換法の利点は、数多くの学習ゲームを簡単に作成可能であることにある。本節では、この方法によって作成可能な学習ゲームのバリエーション例を挙げる。

4.3.1 UNOのバリエーション

UNOの学習ゲーム化の一例として、周期表学習UNOというものを説明した。ここでは、UNOをもと

にして、他にどのような学習ゲームが作成可能か、例をいくつか提示する。前述のとおり、UNOには、数字と色の情報をもっているカードというオブジェクトが存在する。UNOの基本ルールでは、数字の同類関係、そして色の同類関係といったものを利用している。つまりこのオブジェクトは、同類関係が定義可能な情報を二つ持ち併せている学習対象と交換することが可能である。

例えば、世界史においての歴史的な事件に注目する。事件には、どの国で起こったか、そして、何年代に起こったか、という二つの情報を見てとることが出来る。例えば、大政奉還という事件は「日本で」「1860年代」に起こった事件である。この歴史的な事件とUNOのカードを交換することにより、歴史事件の学習ゲームを作成することができる。場札の事件と同じ国が、同じ年代で起こった事件を出す、といった学習ゲームとなる。ほかに、古語の分野を考えると、動詞の活用形を覚えるための学習ゲームを作成することも可能である。例えば、場札の動詞に対して、同じ行変格活用動詞を出したり、同じ已然形の動詞を出したりしてプレイするUNOを考えることができる。

4.3.2 UNO以外のゲームのバリエーション

この手法のUNO以外のゲームへの適用について検討する。例えば、「7並べ」というトランプを使ったゲームを考える。このゲームではまず、プレイヤーに均等にカードを配る。プレイヤーは手札から数字の7が書かれているカードを取り出して、場に並べる。順番を決めた後、各プレイヤーは順に、現在のカードに連続するカード(スタート時は6か8)を1枚出し、対応する場所に置く。手札をなくした者が勝者となる。このゲームでは、オブジェクトとしてトランプが使われている。ゲームルールとしては、数字の順序関係とスートの同類関係の二つが使われている。これは先ほど紹介したUNOと非常に似ており、UNOの学習ゲーム化で利用した学習対象の一部が同じように利用可能となっている。具体的には、本論文で紹介した分では、周期表の元素記号、世界史の歴史的な事件がそのまま利用可能である。また、古文の動詞活用形も、未然・連用・終止・連体・已然・命令形と順序をとると定義すれば、同じように7並べの学習ゲーム化として利用可能となる。

これまで述べてきたUNOや7並べは、二つ以上の要素を考慮しなければならないため、どちらかといえば学習ゲーム化が難しい部類に入る。このような複

雑なものだけではなく、単純な構造のゲーム、例えば同類関係、1対1対応関係のうちどちらかのみをもつゲームを題材としても、この交換によるゲーム化手法は効果を発揮する。例えば、1対1対応関係では、読まれた札と同じ頭文字から始まる札を取る「カルタ」や、伏せられたカードの中から同じカードの組を見つける「神経衰弱」、同類関係では同じ種類の札を合わせる「花札（こいこい・花合せなど）」などが日本では一般的である。これらのもつオブジェクトと交換可能な学習対象は数多く存在する。先ほど挙げた学習からは、世界史の事件として同じ国、または同じ年代のどちらかの同類関係を利用することが可能であるし、古文での同じ動詞活用形という関係も当然利用可能である。まだ挙げていない例としては、英単語のスペルとその日本語訳、若しくは発音という1対1対応関係なども利用することができる。これらを利用して「カルタ」「花札」を学習ゲーム化した場合、例えば、読まれた英単語に対してその日本語訳を素早く取る「英単語学習かるた」や、同じ族の元素記号を合わせていく「周期表学習花札」などといったものが作成可能となる。

このように、UNOのバリエーション、UNO以外のバリエーションとして多くの学習ゲームを作成することができており、部分構造交換法で（仮説a）学習ゲームが作成できるということが裏づけられる。更に、主観的ではあるが、これらの作業の際、新しいゲームを考える必要がなく、一つの段階が省略できており、（仮説b）簡単に作成できたことが確認できた。

5. む す び

本論文では、高い動機付け効果をもつ学習ゲームを簡単に作成するための手法として、部分構造交換法を提案した。これは、ゲームに使われているオブジェクトを、それと同じ構造をしている学習すべき表層構造と交換することによって、学習ゲームを容易に作成するといったものである。この手法は、交換の前後でゲームの構造をできるだけ保存することにより、もとのゲームのもつ面白さを高いレベルで保存することが期待できるものとなっている。

更に、この手法を用いた学習ゲームシステム設計の事例として、「周期表学習 UNO」について説明した。また、この「周期表学習 UNO」の実装とその試験の利用、及び部分構造交換法で作成可能な学習ゲームの検討を行った。この結果、部分構造交換法は学習ゲー

ムを簡単に作成することができ、作成された学習ゲームは動機付け効果が高く、学習が行えるものとなっていたことが分かった。試験利用の調査結果は、周期表学習 UNO のみを対象として調査したものであり、ほかのものとの比較を行って検証したわけではない。この比較対象を用意することは難しく、かつ、客観的なデータから評価することは難しいと考えている。しかし、比較対象がなくとも、実際に学習を行ってきた大学生という被験者がこれらの仮説の支持につながる意見を述べていることには意味があると考えている。これらは、部分構造交換法の有効性を直ちに示すものとはいえないが、本手法は、今後更に洗練し、より実践的なものへと発展させていく価値があるものと判断するには足るものであると考えている。

次に、本研究の今後の課題について述べる。本論文では、部分構造交換法を用いると、もととなったゲームの面白さを保存しつつ、簡単に学習ゲームへと変化させることができるといった主張をしている。しかし本論文では、ある程度作成可能な学習ゲームのバリエーションを提示しているものの、実際にどのような学習が交換可能であり、それに対するオリジナルとなるゲームはどのようなものがあるのか、といった調査までは至っていない。この手法によって学習ゲームを考案したデザイナーも筆者であり、あまりゲームに詳しくないオーサーに簡単に学習ゲームが作成可能かも明らかになっていない。そこで、本手法がどれだけ一般的に使えるものなのか、実際に存在するゲームの分析及び交換対象とできる学習活動の分析と、ゲーム作成経験のないオーサーによる学習ゲーム作成実験などにより調査を行う予定である。また、今回、部分構造交換法の例として作成した周期表学習 UNO だが、利用実験により学習教材として利用可能だと思われる結果は求められたものの、通常の周期表学習に比べた場合、学習の効果・プロセスなど、どのような違いが現れるのかについて確認しておらず、これを明らかにすることも今後の課題の一つである。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費基盤（C）（15500629）、科学研究費特定（15020249）並びに日産学術振興財団の援助を受けた。

文 献

- [1] M. Prensky, Digital game-based learning, McGraw-Hill, 2001.
- [2] 教育システム情報学会（編）、教育システム情報ハンドブック、実教出版、2001.
- [3] 林 敏浩、林田行雄、“KanjiMaster: 部分構造の組み合わせ

わせゲームを用いた漢字学習システム” 教育システム情報学会誌, vol.19, no.4, pp.240-245, 2002.

- [4] 矢野米雄, 林 敏浩, 三好克美, 関 康夫, “ゲームスタイルを用いた漢字熟語学習システム” CAI 学会誌, vol.11, no.2, pp.75-85, 1994.
- [5] 佐々木整, 森川哲史, 竹谷 誠, “対戦型ゲームを利用した論理的思考能力育成教材の開発” 信学論 (D-I), vol.J83-D-I, no.6, pp.635-643, June 2000.
- [6] 磯本征雄, 宮原一弘, 中野宇宙, 伊藤 敏, “ニュートン力学シミュレーション教材の校正と教授方略 宇宙旅行シミュレーションによる事例研究” 信学論 (D-I), vol.J83-D-I, no.6, pp.599-609, June 2000.
- [7] R.R. Burton and J.S Brown, “An investigation of computer coaching for informal learning activities,” Int. J. Man-Machine Studies, vol.11, pp.5-24, 1979.
- [8] G. Yob, “Hunt the Wumpus,” Creative Computing, pp.51-54, Sept./Oct. 1975.
- [9] 矢野米雄, 林 敏浩, “ゲーム型 CAI ビデオゲームの教育への応用” bit, vol.27, no.4, pp.29-37, 共立出版, 1995.
- [10] T.W. Malone, “Toward a theory of intrinsically motivating instruction,” Cognitive Science, vol.5, pp.130-145, 1981.
- [11] R. Cailliois, Les jeux et les hommes, Gallimard, 1958.
- [12] 林 敏浩, 織田好洋, 澤田公寛, 林田行雄, “漢字の字画を学習するためのゲームドリルシステムの開発” 教育システム情報学会誌, vol.18, no.1, pp.7-15, 2001.
- [13] T. Hayashi, Y. Hayashida, and Y. Yano, “Embedding game’s attractiveness into call system,” Proc. ED-MEDIA’96, pp.294-299, 1996.
- [14] 林 敏浩, 林田行雄, “JULASSIC: 漢字熟語学習のためのゲーム型 CAI システム” 教育システム情報学会誌, vol.17, no.2, pp.152-161, 2000.
- [15] T. Umetsu, T. Hirashima, and A. Takeuchi, “Fusion method for designing computer-based learning game,” Proc. ICCE2002, pp.124-128, 2002.
- [16] T. Umetsu, T. Hirashima, and A. Takeuchi, “A computer-based learning game designed by fusion method,” J. Information and Systems in Education, pp.7-13, 2003.
- [17] 梅津孝信, 平嶋 宗, 竹内 章, “ゲーム性の低い学習活動の融合型ゲーム化法とその実践例” 人工知能学会知的教育システム研究会, SIG-IES-A103, pp.19-26, 2002.
- [18] 梅津孝信, 平嶋 宗, 竹内 章, “学習の融合型ゲーム手法の提案とその実践例” ゲームプログラミングワークショップ 2002, pp.132-135, 2002.
- [19] 梅津孝信, 平嶋 宗, 竹内 章, “学習ゲーム作成法としての部分活動交換法の提案” ゲーム学会第一回合同研究会研究報告, pp.43-46, 2003.
- [20] T. Umetsu, T. Hirashima, and A. Takeuchi, “Partial exchange method for designing computer-based learning games,” Proc. ICCE2003, pp.1244-1246, 2003.

(平成 16 年 4 月 8 日受付, 8 月 9 日再受付)



梅津 孝信

2002 九工大・情報工学卒, 2004 同大大学院情報工学研究科博士前期課程了。現在, 広島大学大学院博士後期課程在学中。人の学習を促進する学習支援システムにおいて, 学習者の学習への動機付けを高めるため学習とゲームを融合する方法を定式化する研究に従事。2002 年度 ICCE2002 Best Paper Award, 2003 年度ゲーム学会ゲーム作品コンペティションアカデミック部門優秀賞受賞。



平嶋 宗 (正員)

1986 阪大・工卒, 1991 同大大学院博士課程了, 同年大阪大学産業科学研究所助手, 1996 同講師, 1997 九州工業大学情報工学部助教授, 2004 より広島大学大学院工学研究科教授。人間を系に含んだ計算機システムの高度化に興味をもっており, 特に知的学習支援システム及びユーザモデルを用いた情報フィルタリング・情報整理支援の研究に従事している。工博, 1993 人工知能学会全国大会優秀論文賞, ED-MEDIA95 優秀論文賞, 1996, 1998, 1999 年度人工知能学会研究奨励賞, ICCE2001, ICCE2002 優秀論文賞, 2003 年度人工知能学会優秀研究賞, 2003 年度ゲーム学会ゲーム作品コンペティションアカデミック部門優秀賞受賞。人工知能学会, 情報処理学会, 教育システム情報学会, 教育工学会, 日本教育心理学会, IAIED, APSCE, AACE 各会員。



竹内 章 (正員)

1976 九大・工卒, 1987 同大大学院修士課程了。九州大学工学部助手, 講師を経て, 1989 九州工業大学情報工学部助教授。現在, 九州工業大学情報工学部教授。工博。学習支援システム, ヒューマン・マシンインタフェースなどの研究に従事。情報処理学会, 人工知能学会, 教育システム情報学会等各会員。